

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

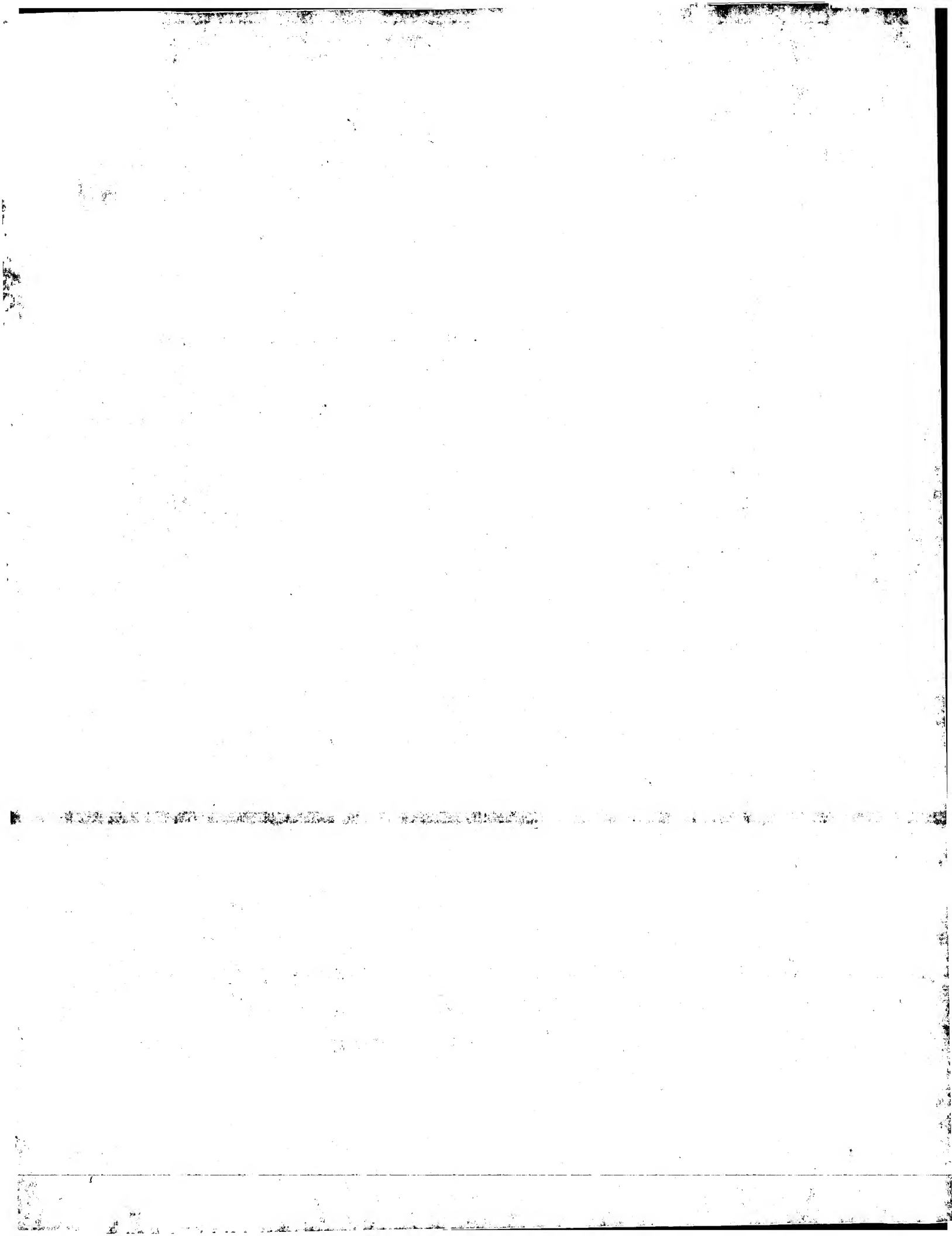
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**





19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 43 20 943 C 2

21 Aktenzeichen: P 43 20 943.2-52
22 Anmeldetag: 24. 6. 1993
43 Offenlegungstag: 5. 1. 1995
45 Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 15. 2. 2001

51 Int. Cl. 7:
G 01 N 21/65
G 01 N 21/61
G 01 N 15/00
G 01 L 23/00
F 02 B 77/08
G 01 M 11/00
G 01 N 21/84

DE 43 20 943 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
LaVision GmbH, 37079 Göttingen, DE
74 Vertreter:
Walther, Walther & Hinz, 34130 Kassel

72 Erfinder:
Andresen, Peter, Prof. Dr., 3402 Dransfeld, DE;
Beushausen, Volker, Dr., 37520 Dorste, DE;
Grünefeld, Gerd, Dipl.-Phys., 37085 Göttingen, DE;
Hentschel, Werner, Dr., 3180 Wolfsburg, DE

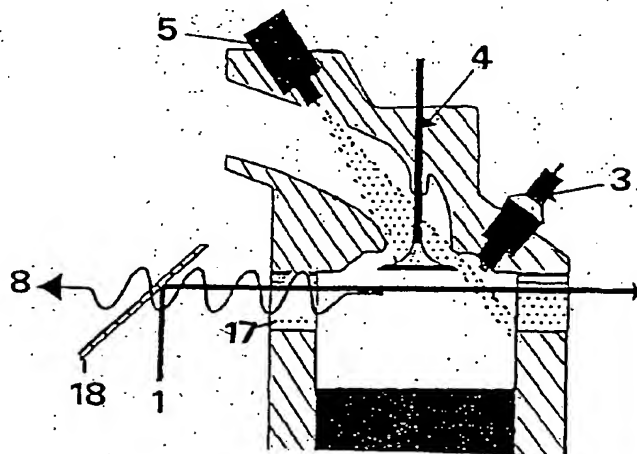
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 41 27 712 A1
US 44 44 169

Applied Optics, 18, 1979, S. 3819-3825;
Fresenius Z. Anal. Chem., 327, 1987, S. 335-337;
J. Phys. E: Sci. Instrum., 22, 1989, S. 123-128;
Applied Optics, 23, 1984, S. 1347-1352;
ECKBRETH, A.C.: Laser Diagnostics for Combustion
Temperatur and Species, A.K. Gupta, D.G. Lilley
eds, Vol. 7, Energy and Engineering Science
Series, Abacus Press, Cambridge, Mass., 1988,
S. 287-289;
The Review of Scientific Instruments, 40, 1969,
S. 1541-1544;

54 Verfahren zur Charakterisierung der Arbeitsweise von Verbrennungsmotoren durch Messen der
Gaszusammensetzung im Brennraum durch Raman-Spektroskopie

57 Verfahren zur Charakterisierung der Arbeitsweise von
Verbrennungsmotoren durch Messung der Gaszusam-
mensetzung im Brennraum durch Raman-Spektroskopie,
wobei die Gaszusammensetzung im Brennraum inner-
halb des Kompressionstaktes an Orten, wo die Verbren-
nung noch nicht stattgefunden hat, orts aufgelöst oder
über Orte gemittelt für einen einzelnen Kompressionstakt
oder über mehrere Kompressionstakte gemittelt mit ge-
pulsten Hochleistungslasern im unteren UV-Bereich über
laserinduzierte Emissionen bestimmt wird, bei gleichzei-
tiger Messung der Teilchendichten von N₂, O₂, H₂O
und Kraftstoff, unter Verhältnissbildung der Teilchendich-
ten zur Bestimmung der verbrennungsrelevanten Größen
Stöchiometrie, Restgasanteil und Restgaszusammenset-
zung.



DE 43 20 943 C 2

Beschreibung

Die Arbeitsweise eines Motors hängt entscheidend von Größen ab, die nicht genau genug von außen einstellbar sind, wie z. B. der Absolutwert und die räumliche Verteilung der Stöchiometrie oder der Abgasanteil. Obwohl diese Größen im Groben vorgegeben werden, treten im Feinen Schwankungen auf, die erheblichen Einfluss auf die Betriebsbedingungen des Motors haben.

Insbesondere ist beim Ottomotor – z. B. über die Messung der Druckkurve – bekannt, dass die Leistungsabgabe zyklischen Schwankungen unterliegt.

Diese zyklischen Schwankungen werden verursacht durch im Prozentbereich liegende Änderungen in der Menge der zugeführten Luft, der Menge des zugeführten Kraftstoffes und Änderungen in dem vom vorherigen Zyklus verbliebenen Abgasanteil. Daher spielen diese kleinen Schwankungen eine entscheidende Rolle für die Arbeitsweise und die Optimierung, insbesondere von Ottomotoren.

Da die Stöchiometrie und auch der Abgasanteil die Leistungsabgabe entscheidend beeinflussen, spielt die kontrollierte Einstellung dieser Größen bei der Entwicklung eine wichtige Rolle. Über eine exakte simultane Messung dieser und aus anderen Teilchendichten resultierender Größen kann die Wirkung externer Maßnahmen auf diese Größen überprüft werden.

In der US 44 44 169 ist ein Sensor beschrieben, durch den durch das Eigenleuchten bei der Verbrennung das Kraftstoff-Luft-Verhältnis bestimmt werden kann. In Applied Optics, 18, 1979, Seiten 3819–3825, wird die Anwendung von kohärenter anti-Stokes Raman-Streuung (CARS) beschrieben. CARS verwendet eine nichtlineare Technik wohingegen die Raman-Spektroskopie sich als lineare Technik darstellt. Das heißt, dass die Raman-Spektroskopie und CARS physikalisch grundlegend verschieden gestaltet sind. Mit CARS kann zwar die Temperatur während des Verbrennungsvorgangs bestimmt werden, nicht aber die Stöchiometrie und Restgasmenge.

In der DE 41 27 712 A1 wird die Anwendung der Ramanstreuung zur Gasanalyse in einer Messzelle beschrieben. Die simultane Messung mehrerer Teilchendichten in einzelnen Laserpulsen ist hieraus nicht bekannt, so dass wichtige Daten zur Bestimmung der Charakterisierung der Arbeitsweise von Verbrennungsmotoren hiermit nicht erhältlich sind.

Gleiches gilt vom Ergebnis her für den Aufsatz in J. Phys. E: Sci. Instrum., 22, 1989, Seiten 123–128, bei dem die Ramanstreuung zur allgemeinen Gasanalyse eingesetzt wird.

Auch aus A. C. Eckbreth "Laser Diagnostics for Combustion Temperature and Species", A. K. Gupta & D. G. Lilley (eds.), Vol. 7, Energy and Engineering Science Series, 1988, Abacus Press, Cambridge, Mass., USA, Seiten 287–289, ist die Anwendung von CARS bekannt, mit den bereits zuvor beschriebenen Nachteilen.

The Review of Scientific Instruments, 40, 1969, Seiten 1541–1544 sieht nicht die Ramanstreuung zur Messung vor, sondern ein Absorptions-Emissionsverfahren, welches im Gegensatz zur Raman-Spektroskopie mit einer Lampe als Lichtquelle durchgeführt werden könnte. Unabhängig hiervon wird in dieser Literaturstelle beschrieben, wie ein Druckaufnehmer in dem Zylinder des Motors angeordnet werden kann.

Mit den bis heute verfügbaren Messmethoden war eine gleichzeitige präzise Messung der oben beschriebenen Größen im Brennraum von Motoren für einen einzelnen Verbrennungszyklus nicht mit hinreichender Präzision möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, diesem Nachteil abzuweichen.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Mit dem hier vorgeschlagenen Verfahren ist es möglich, gleichzeitig den verbliebenen Abgasanteil, die zugeführte Luftmenge, die zugeführte Kraftstoffmenge und die Leistungsabgabe (über die Druckkurve) für einen einzelnen Verbrennungszyklus mit so großer Präzision zu ermitteln, dass der Einfluss der zyklischen Schwankung der Gassammensetzung auf die Leistungsabgabe bestimmt werden kann. Es ist auch möglich, weitere Größen simultan zu erfassen. Für das Verfahren ist es wichtig, dass diese Messung mit hinreichend hoher Präzision (um 1%) erfolgt, so dass der Einfluss kleiner zyklischer Änderungen in der Gassammensetzung auf die Leistung erfasst werden kann.

So kann z. B. messtechnisch erfasst werden, welchen Einfluss der Abgasanteil, die Stöchiometrie – oder auch andere Größen, wieder Druckverlauf des vorherigen Zyklus – auf die Leistungsabgabe haben. Wichtig ist, dass der Einfluss der Messgrößen auf die Leistungsabgabe messtechnisch – durch die hohe Präzision des Verfahrens – unterschieden werden kann.

Die Messungen können auch gemittelt über verschiedene Zyklen erfolgen. In diesem Fall kann – ohne die Schwankungen im Einzelnen zu kennen – bestimmt werden, bei welchen mittleren Werten von Stöchiometrie und Abgasanteil der Motor arbeitet. Bei Variation von motorischen Bedingungen kann – gemittelt – z. B. der Einfluss verschiedener Einspritzvarianten, der Last oder des Zündzeitpunktes auf die Gasmischung vor der Zündung und die Leistungsabgabe bestimmt werden.

Die Messung der Mengen von Luft, Kraftstoff und der Menge des verbliebenen Abgasanteils erfolgt nach dem Verfahren über spontane Ramanstreuung. Es ist wohl bekannt, dass die Ramanstreuung für die Messung der Dichten von Majoritätspezies verwendet werden kann (Eckbreth, A. C. "Laser Diagnostics for Combustion Temperature and Species", A. K. Gupta & D. G. Lilley (eds.), Vol. 7, Energy and Engineering Science Series, 1988, Abacus Press Cambridge, Mass., USA, Seiten 287–289). Wegen der relativ schwachen Intensität der Ramanstreuung und dem gleichzeitigen Auftreten anderer durch den Laser verursachter Leuchterscheinungen ist es aber schwierig (I) hinreichend viel Signal für die Unterscheidung der kleinen zyklischen Schwankungen zu erhalten und (II) die Ramanemission von den anderen Emissionen zu unterscheiden. Es ist wohl bekannt, dass der Einsatz der Ramanstreuung – z. B. bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen – durch diese anderen Emissionen in der Genauigkeit erheblich eingeschränkt ist (s. Eckbreth).

Zu (I)

Die Erzeugung eines hinreichend großen Signals wird dadurch erreicht, dass die Ramanstreuung mit intensiven gepulsten Lasern, sogenannten Hochleistungs-PulsLasern, im tiefen UV durchgeführt wird. Es ist wohl bekannt, dass die Intensität der Ramanstreuung mit der vierten Ordnung der Frequenz zunimmt und daher im tiefen UV (200–300 nm) besonders intensiv ist.

Zu (II)

Die Unterscheidung von anderen Leuchterscheinungen wird unter anderem dadurch erreicht, dass die Polarisation der Ramanstreuung ausgenutzt wird. Da die anderen durch den Laser verursachten Leuchterscheinungen meist unpolarisiert sind, erhält man durch die Einstellung des elektrischen Feldes eine hinreichend hohe Präzision.

schen Vektors des Laserlichtes in Beobachtungsrichtung – vereinfacht gesagt – den Untergrund U und durch Einstellung des elektrischen Vektors des Laserlichtes senkrecht zur Beobachtungsrichtung die Summe $S_r + U$ aus Ramansignal S_r und Untergrund U und kann dann durch Differenzbildung $S_r = (S_r + U) - U$ das Ramansignal separat bestimmen.

In analoger Weise kann – ohne eine Drehung des elektrischen Vektors des Laserlichtes – der Untergrund bestimmt werden, indem die Emission in Beobachtungsrichtung nach Polarisationsanteilen (z. B. durch Polarisationsfilter) analysiert wird. Wiederum liefert die eine Polarisationsrichtung den Untergrund und die andere Polarisationsrichtung Signal + Untergrund, so dass das Ramansignal getrennt bestimmt werden kann. Der Vorzug der letzteren Variante ist, dass in ein und demselben Messvorgang beide Komponenten ermittelt werden können. Daher ist es möglich, die Ramanstreuung von den anderen störenden Leuchterscheinungen zu trennen und die Dichten der Gaskomponenten selektiv, d. h. ohne störende Fremdemissionen, zu ermitteln.

Die Analyse der polarisierten Emission ist wichtig, da sie die Unterscheidung der Emissionen und damit eine selektive Messung der einzelnen Gaskomponenten in Gasgemischen mit komplexer Zusammensetzung erlaubt. Die hohe Intensität der Ramanstreuung ist wichtig, da durch sie die Messpräzision so hoch wird, dass die real auftretenden zyklischen Schwankungen in der Gaszusammensetzung vermessen werden können.

Aus den Messdaten kann ermittelt werden, unter welchen Bedingungen der Motor arbeitet und ob Verbesserungen vorgenommen werden können. So erhält man z. B. durch Auftragen des Lambdawertes (aus der relativen Intensität von O_2 zu Kraftstoff, s. u.) auf der x-Achse, der Abgasmenge (über die Menge des Wassers und O_2) auf der y-Achse und der zugehörigen Leistungsabgabe auf der z-Achse die Abhängigkeit der Leistungsabgabe von Stöchiometrie und Abgasanteil. Diese Gegenüberstellung von Ursache und Wirkung gibt eine direkte Vorschrift für eine Optimierung, nach der z. B. ein Einspritzsystem gezielt verändert werden kann und auch überprüft werden kann, ob die Veränderung die gewollte Auswirkung hat.

Die simultane Erfassung der Größen $[O_2]$, $[N_2]$, $[H_2O]$, $[f]$ und $[x]$ (x ist die Dichte der Teilchensorten, f = Kraftstoffmoleküle) vor einem Verbrennungszyklus nach der Verdichtung, zusammen mit der Druckkurve des vorigen und aktuellen Verbrennungszyklus, liefert z. B. folgende Informationen:

1. Stöchiometrie der Gasmischung,
2. Abgasanteil vom vorigen Zyklus in der Gasmischung,
3. eingelassene Luftmenge,
4. eingelassene Kraftstoffmenge,
5. die mit dieser Gaszusammensetzung erzielte Leistung,
6. den Einfluss des vorherigen Zyklus' auf den Gasaustausch.

Der Abgasanteil im Motorbrennraum vom vorherigen Zyklus kann aus dem Verhältnis von H_2O/N_2 (da der Wasseranteil in der zugeführten Luft vernachlässigbar klein ist), aber auch über das Verhältnis O_2/N_2 bestimmt werden.

Durch die simultane, präzise Erfassung verschiedener Messgrößen ist es also möglich, kausale Zusammenhänge in einzelnen Verbrennungszyklen zu ermitteln und dadurch die Betriebsbedingungen des Motors zu charakterisieren und die Erkenntnisse als Basis zur Optimierung zu verwenden. Als Beispiel sei noch einmal die gleichzeitige Messung der Stöchiometrie und des Abgasanteils in einem bestimmten

Messvolumen vor der Zündung simultan mit der Aufnahme der Druckkurve für den aktuellen Verbrennungszyklus genannt.

Diese Messung erlaubt es, die Ursache (Gemischzusammensetzung vor der Zündung) mit der Wirkung (Leistungsabgabe) zu verknüpfen. Durch die simultane Messung weiterer Größen (z. B. der NO-Dichte über LIF, Temperaturen, ...) in demselben Zyklus können weitere Aussagen über Ursache und Wirkung getroffen werden. Wesentlich für die vorliegende Erfindung ist auch, dass die kleinen Schwankungen in der Gemischzusammensetzung vor der Zündung genau genug erfasst werden können.

Anhand der Darstellungen wird die Erfindung nachstehend beispielhaft beschrieben.

Abb. 1 zeigt zwei Emissionsspektren aus dem Verbrennungsmotor;

Abb. 2 + Abb. 3 zeigen Diagramme, in denen die Hochdruckarbeit über Stöchiometrie aufgetragen ist;

Abb. 4 zeigt schematisch die Messanordnung zur Durchführung des Verfahrens;

Abb. 5 zeigt schematisch einen Vielkanalanalysator;

Abb. 6 zeigt eine Variante einer Messanordnung von **Abb. 4**.

Abb. 1 zeigt zwei Emissionsspektren aus dem Verbrennungsmotor. Wenn der elektrische Vektor des Laserlichtes in Beobachtungsrichtung liegt (vgl. Fig. 4), wird der durch Fremdemissionen verursachte Untergrund sichtbar. Wenn der elektrische Vektor des Laserlichtes senkrecht zur Beobachtungsrichtung steht, wird die durch die Ramanstreuung und den Untergrund verursachte Emission sichtbar. Die Differenz ist das Ramansignal. Das Bild zeigt deutlich, dass die Polarisation der Ramanstreuung verwendet werden kann, um den Untergrund zu ermitteln. Bei der quantitativen Deutung ist zu berücksichtigen, dass auch depolarisierte Teile der Ramanstreuung auftreten.

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen in **Abb. 2** und **3** zeigen, dass es möglich ist – für eine gegebene Betriebsbedingung des Motors – die erwähnten kleinen Schwankungen in der Stöchiometrie im Einzelschuss zu messen. In den Versuchen mit einem VW-Transparentmotor stellte sich z. B. heraus, dass die Schwankungsbreite der Stöchiometrie im Bereich von $\Delta\lambda = 0.2$ liegt, d. h. z. B., dass bei einer extern eingestellten λ -Zahl von 1.0 die gemessene λ -Zahl zwischen 0.9 und 1.1 schwankt. Diese Schwankungen sind in **Abb. 2** dargestellt. Dass diese Schwankungen genau genug gemessen sind, um den Einfluss der Schwankung der Gasmischung auf die Leistung zu ermitteln, ist an dem simultan gemessenen Druck zu erkennen: für die Zyklen mit fetten Gemischen ist der Maximaldruck hoch und schwankt wenig, für die mageren Zyklen ist der Maximaldruck tiefer und schwankt erheblich stärker. **Abb. 3** zeigt Ergebnisse von Messungen, die neben der Stöchiometrie auch den zusätzlichen Einfluss des Abgasanteils darstellen. Das Bild zeigt den erreichten Maximaldruck als Funktion der Stöchiometrie und des Abgasanteils und wird hier als Kennfeld bezeichnet. Offensichtlich führen größere Abgasanteile zu kleineren Drücken und damit zu weniger Leistungsabgabe.

Das Kennfeld, das hier für eine Arbeitsweise des Motors dargestellt ist, hängt von der Arbeitsweise des Motors ab. Es kann zur Unterscheidung der verschiedenen Arbeitsweisen verwendet werden.

Insbesondere liefert auch die Druckkurve des vorherigen Zyklus wichtige Informationen z. B. über die Historie des Gasaustausches im Brennraum. Wenn z. B. der Druck im vorherigen Zyklus groß war, findet man im Folgezyklus – für eine bestimmte Betriebsbedingung – weniger Kraftstoff. Dieses wird erklärt durch den noch nicht vollständig abgebauten Druck während des Einlasses des Kraftstoffes. Die

Korrelation zwischen der vorherigen Druckkurve mit dem Kraftstoffanteil liefert daher indirekte Information über den Gasaustausch im Brennraum. Die absolute N_2 -Menge liefert Informationen über die gesamte eingelassene Luftmenge und damit z. B. über die Drosselklappenstellung, die den Druck im Saugrohr reguliert. Auf diese Weise werden – über den durch die Majoritätendichten charakterisierten Gasaustausch – indirekte Rückschlüsse über die gasdynamischen Prozesse nicht nur im Brennraum gewonnen.

Die Erkenntnisse, die aus diesen Ergebnissen hervorgehen, sind wesentlich: durch die präzise Messung der Stöchiometrie und des Abgasanteils ist es möglich, ein Kennfeld (Abb. 3) aufzunehmen, das es erlaubt, die Leistungsabgabe des Motors so zu optimieren, dass der Druck – als Funktion der beiden wichtigen Größen Stöchiometrie und Abgasanteil – maximal wird. Dieses sollte z. B. über die Variation der Einspritzung oder andere relevante Einflussparameter geschehen.

Die Messungen können auch gemittelt über verschiedene Zyklen erfolgen, falls das Signal im Einzelschuss nicht genügend Intensität liefert. Bei diesen Messungen mitteln sich die kleinen Schwankungen in der Stöchiometrie und im Abgas weg, so dass in einer Darstellung wie in Abb. 3 die Schwankungen sehr viel kleiner werden und reproduzierbare charakteristische Daten gewonnen werden. Man kann dann als Funktion anderer motorischer Parameter untersuchen, in welchem Bereich dieses Kennfeldes der Motor arbeitet, d. h. für jede Betriebsbedingung in Abb. 3 einen bestimmten Bereich abdecken.

Messungen mit Raman und Rayleigh-Streuung

Durch die bei verschiedenen Wellenlängen getrennt auftretenden Ramanemissionen von Stickstoff [N_2], Sauerstoff [O_2], Wasser [H_2O] und Kraftstoff (z. B. [C_8H_{18}]) ist es möglich, eine simultane Messung der Intensität dieser Emissionen durchzuführen. Die Basis der Verfahren ist vollständig bekannt und auch, dass Stöße bei hohen Drücken eine untergeordnete Rolle spielen. Im Folgenden wird kurz beschrieben, auf welcher Basis hier die Daten ausgewertet werden. Es gilt:

$$I_{\text{ram}} = S \sigma_{\text{ram}} [i] E_0$$

mit der Energie E_0 des Laserpulses, dem Ramanquerschnitt σ_{ram} für Teilchen i und der Partialdichte $[i]$ der Teilchen i . S ist die Empfindlichkeit des Messsystems für den Nachweis von Teilchen i . S ist im Prinzip separat für jede Teilchensorte und jeden Ort zu bestimmen, wird hier aber der Einfachheit halber als konstant angenommen. Für die relative Messung der Dichten der Teilchen i, j gilt:

$$I_{\text{ram}}/I_{\text{jam}} = S_i/S_j \sigma_{\text{ram}}/\sigma_{\text{jam}} [i]/[j]$$

d. h., aus der relativen Intensität für die beiden Komponenten kann – ohne dass die Laserenergie oder z. B. die Nachweisempfindlichkeit eingeht – das Verhältnis der Dichten $[i]/[j]$ bestimmt werden. Da sich die Stöchiometrie aus der relativen Intensität von O_2 zu Kraftstoff ergibt, ist die Stöchiometrie mit größerer Präzision als die Einzelkomponenten zu erfassen.

Desweiteren ist es möglich, die Intensität der Rayleigh-Streuung gleichzeitig zu messen und – in Verbindung mit der Ramanstreuung – Informationen über die gesamte Dichte (= Summe der Partialdichten der Majoritätenspezies) zu erhalten. Es gilt:

$$I_{\text{ray}} = S E_0 \sum_i \sigma_{\text{ray}} [i] \text{ und wegen}$$

$$[i] = I_{\text{ram}}/\sigma_{\text{ram}} E_0$$

$$I_{\text{ray}} = S \sum_i (\sigma_{\text{ray}}/\sigma_{\text{ram}}) I_{\text{ram}}$$

Es ist also die Auswertung der Rayleigh-Streuung über die Summe der Ramanintensitäten möglich. Hier fällt die Laserenergie nicht heraus, da sie implizit in der Ramanintensität enthalten ist. Es ist wohlbekannt, dass die Rayleigh-Streuung verwendet werden kann, um über das Gasgesetz – in Verbindung mit dem über die gemessene Druckkurve bekannten Druck zum Zeitpunkt der Messung – die Temperatur zu ermitteln. Auch die Rayleigh-Streuung ist polarisiert und ihre Intensität nimmt mit der vierten Potenz der Frequenz zu. Da die Rayleigh-Streuung sehr viel intensiver als die Ramanstreuung ist, liefert sie für die gesamte Dichte oder die Temperatur eine hohe Messgenauigkeit.

Auf diese Weise können – in Verbindung mit Kalibriermessungen – zunächst separat die partiellen Dichten von Kraftstoff, Luft und Wasser bestimmt werden. Daneben kann über kombinierte Messung der Druckkurve und der Rayleigh-Streuung die Temperatur ermittelt werden.

Eine konkrete Anordnung zum Messen ist – als ein Beispiel aus vielen – in Abb. 4 dargestellt. In diesem Fall wird der intensive gepulste UV-Laserstrahl (1) durch den Brennraum eines Motors geschossen. Dazu sind in den oberen Teil UV-transmittierende Fenster (2) eingesetzt. Neben dem Brennraum mit der Zündkerze (3) und dem Einlassventil (4) ist weiterhin im Querschnitt ein Teil des Saugrohres mit dem Einspritzventil (5) gezeigt. Von einem Abschnitt mit endlicher Länge aus dem Brennraum längs des Laserstrahles wird das gestreute Ramanlicht über ein Fenster im Kolben (6) und einen Umlenkspiegel (7) zum räumlich auflösenden optischen Vielkanalanalysator (8) gelenkt. Dieser ist in Abb. 5 näher beschrieben. Eine Abbildungsoptik (9) bildet die Laserstrahlachse (16) auf den Spalt (10) eines Spektrographen ab. Dieser besteht üblicherweise aus mehreren Spiegeln (11) und einem Dispersionsgitter (12). In dem Spektrographen werden die verschiedenen Emissionen nach Wellenlängen getrennt (entlang der Achse (14)) und mit einer intensivierten, kurz öffnenden CCD-Kamera (13) nachgewiesen. Der Aufbau ermöglicht zusätzlich eine örtliche Zuordnung der Ramanemission längs des abgebildeten Abschnittes aus dem Brennraum entlang der Achse (15). Zur Bestimmung der Polarisation der verschiedenen Emissionen kann z. B. das Rochonprisma zur Trennung verwendet werden. Die beschriebene Anordnung wird üblicherweise – bis auf die Polarisationsanalyse – mit dem Stichwort "örtlich aufgelöster optischer Vielkanalanalysator" bezeichnet.

Abb. 6 zeigt eine andere Realisierung der Messtechnik. Hier ist der optische Zugang zum Motor nur durch kleine Fenster (17) an der Seite realisiert. Auf eines der Fenster (17), durch die der UV-Laserstrahl in Abb. 6 den Brennraum verlässt, kann ggf. verzichtet werden. Der UV-Laserstrahl (1) wird über einen dichroitischen Spiegel (18) in den Brennraum eingekoppelt. Die Ramanemission – und auch andere Emissionen – werden über eines der Fenster (17) an der Seite ausgekoppelt und wiederum mit einem optischen Vielkanalanalysator (8) (vgl. Abb. 5) – und einem Polarisationsanalysator – nachgewiesen. In diesem Fall ist in dem Medium unter Umständen auch noch (etwas) örtliche Auflösung zu erhalten, wenn das Fenster in einer Richtung ausgeht.

Die Messung kann auch mit anderen spektralen Filtern und anderer Analyse der Polarisation erfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Charakterisierung der Arbeitsweise von Verbrennungsmotoren durch Messung der Gaszusammensetzung im Brennraum durch Raman-Spektroskopie, wobei die Gaszusammensetzung im Brennraum innerhalb des Kompressionstaktes an Orten, wo die Verbrennung noch nicht stattgefunden hat, ortsaufgelöst oder über Orte gemittelt für einen einzelnen Kompressionstakt oder über mehrere Kompressionstakte gemittelt mit gepulsten Hochleistungslasern im unteren UV-Bereich über laserinduzierte Emissionen bestimmt wird, bei gleichzeitiger Messung der Teilchendichten von N_2 , O_2 , H_2O und Kraftstoff, unter Verhältnissbildung der Teilchendichten zur Bestimmung der verbrennungsrelevanten Größen Stöchiometrie, Restgasanteil und Restgaszusammensetzung. 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwankungen der Teilchendichten in der Luftzufuhr und der Kraftstoffzufuhr separat ermittelt werden. 10
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zyklischen Schwankungsbreiten der Messgrößen durch simultane Messungen in einzelnen Zyklen festgestellt werden. 15
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass über einen Zyklus die Druckkurve im Zylinder gemessen wird, um die induzierte Hochdruckarbeit zu ermitteln. 20
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messungen nahe der Zündkerze erfolgen. 25
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass verschieden große Volumina verwendet werden, um Korrelationen zwischen den einzelnen Messungen eindeutiger zu machen. 30
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Charakterisierung der Arbeitsweise von Verbrennungsmotoren Messgrößen des vorangegangenen Zyklus mit den aktuellen Messgrößen korreliert werden. 35
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich die Temperatur und/oder die NO -Konzentration in demselben Zyklus gemessen und zur weiteren Charakterisierung der Betriebsbedingungen herangezogen werden. 40
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich die Rayleigh-Streuung gemessen wird, um die Temperatur und die gesamte Teilchendichte zu bestimmen. 45
10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisationskomponenten der Rayleigh- und Ramanstreuung gleichzeitig gemessen werden und dass die Polarisationsseigenschaften der Rayleigh- und Ramanstreuung verwendet werden, um Fremdemissionen zu eliminieren. 50
11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Spektrometer oder Filter für die Trennung der Emissionen verwendet werden. 55
12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Aufnahme der laserinduzierten Emissionen eine empfindliche Kurzzeitkamera verwendet wird. 60

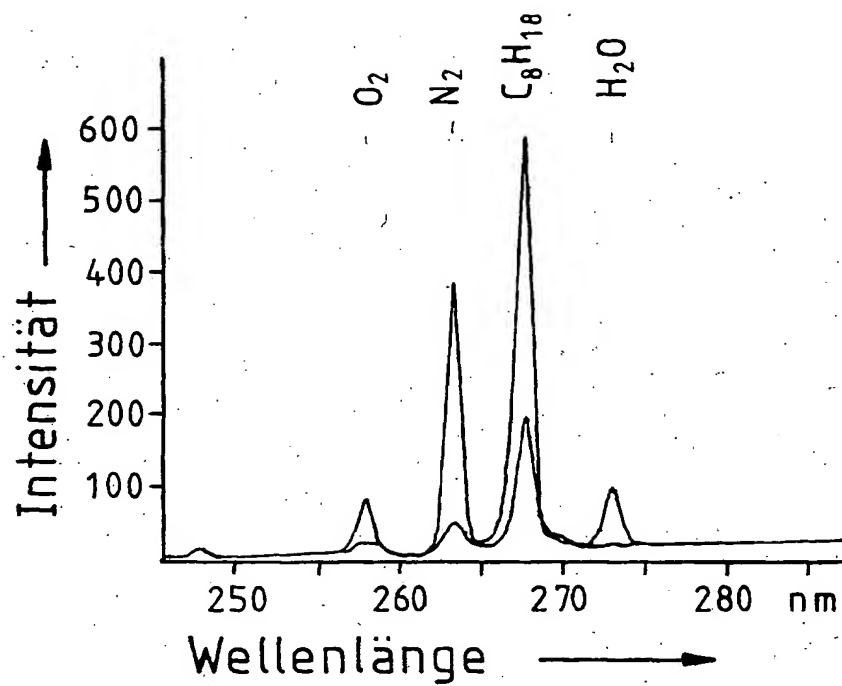


Abb. 1

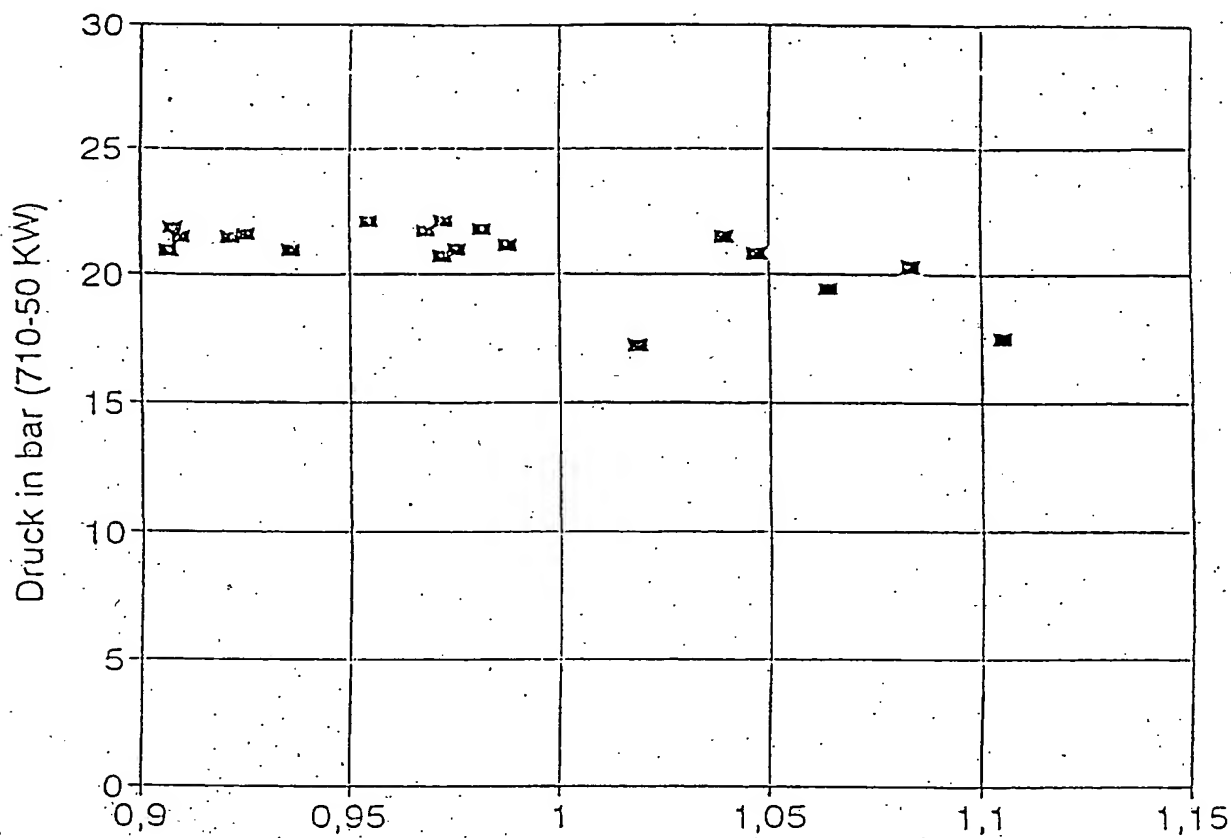


Abb. 2 Stöchiometrie (N2/Brennstoff)

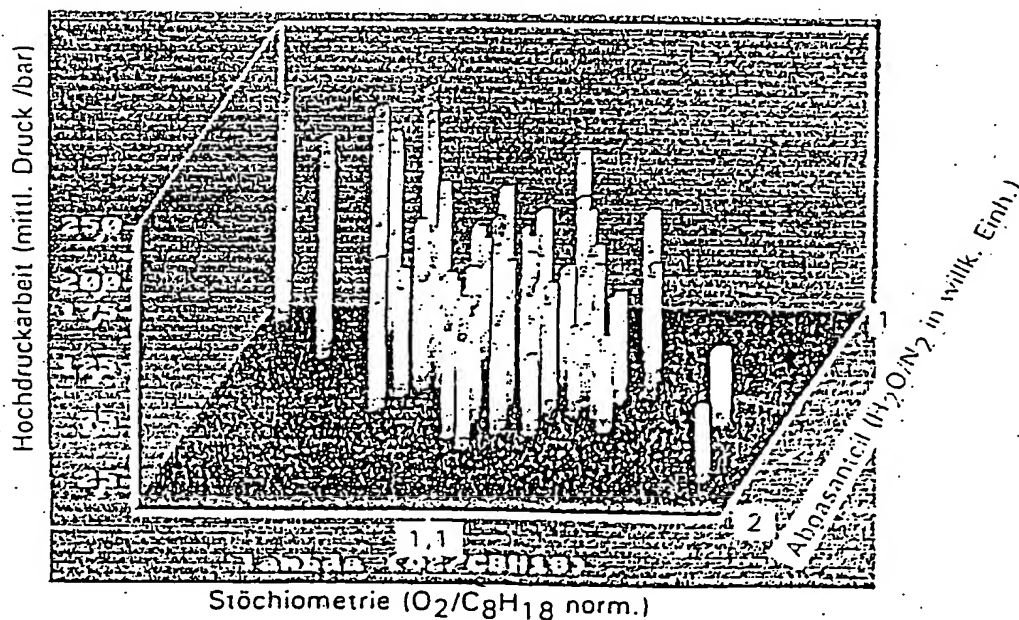


Abb. 3

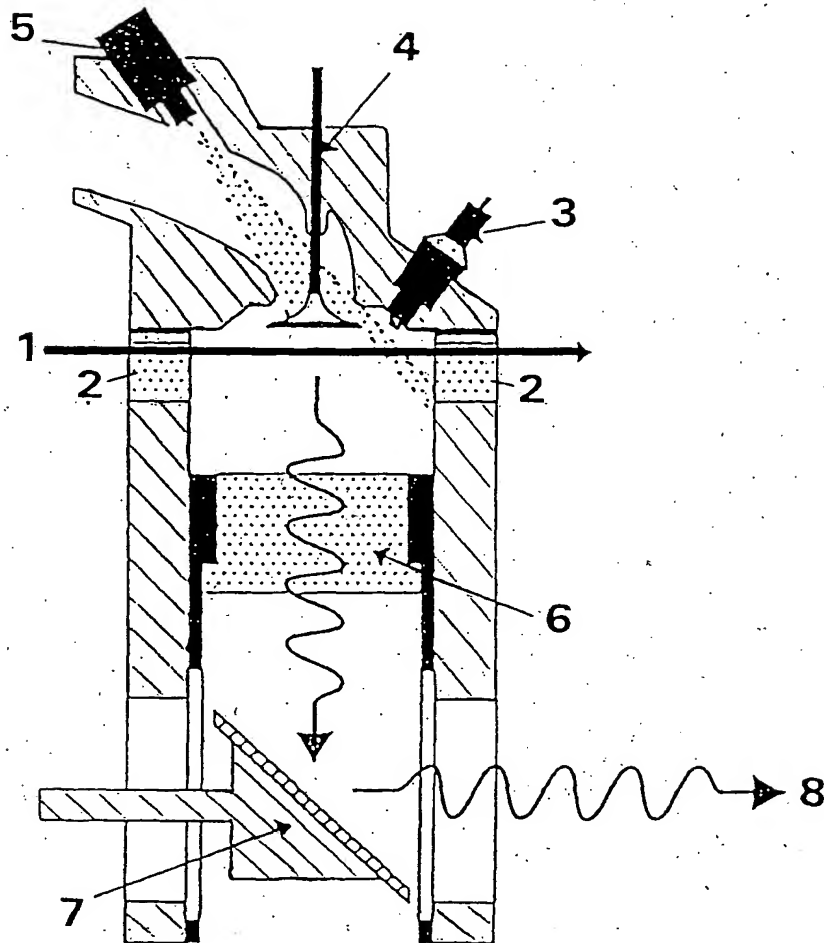


Abb. 4

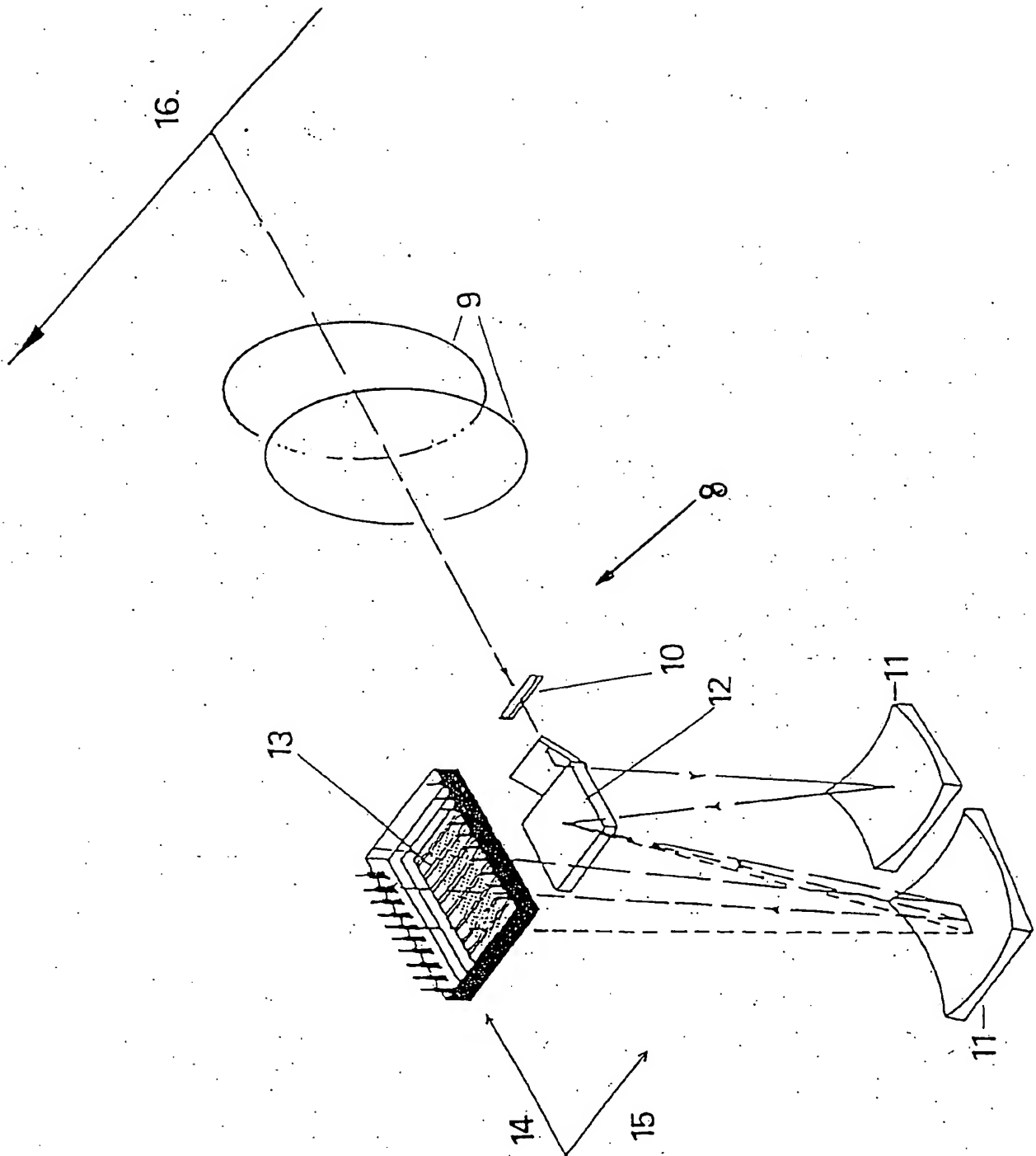


Abb. 5

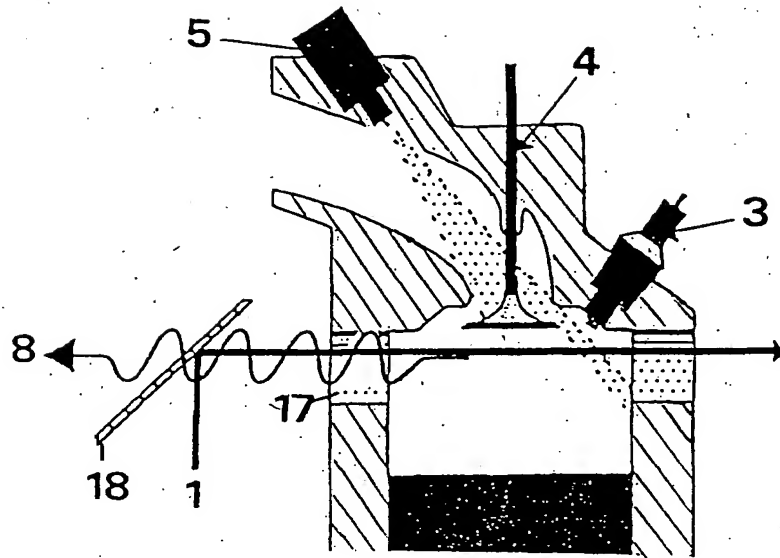


Abb. 6